

1. JP 06-218712 A (D3)
2. Patent family member USA 5,204,055 A (R3)

Note:

Examiner's findings on Claims and paragraph [0041] of D3 are corresponding to the descriptions on Claims and paragraph 7, lines 18-33 of R3.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-218712

(43)公開日 平成6年(1994)8月9日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 8 B 1/32		G 9152-4G		
B 2 2 F 7/04		D		
B 2 8 B 7/00		Z 7351-4G		
B 3 2 B 27/00		8413-4F		
G 0 6 F 15/72	4 5 0	9192-5L		

審査請求 未請求 請求項の数28 書面 (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平2-415702

(22)出願日 平成2年(1990)12月10日

(31)優先権主張番号 4 4 7 6 7 7

(32)優先日 1989年12月8日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 591013573

マサチューセッツ・インスティテュート・  
オブ・テクノロジーMASSACHUSETTS INSTI  
TUTE OF TECHNOLOGYアメリカ合衆国マサチューセッツ州02139,  
ケンブリッジ, マサチューセッツ・アベ  
ニュー 77

(72)発明者 エマニュエル・エム・サチス

アメリカ合衆国マサチューセッツ州02144,  
サマーヴィル, リバティ・アベニュー  
14

(74)代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外4名)

最終頁に続く

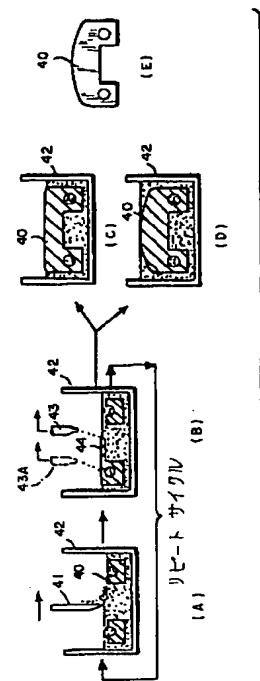
(54)【発明の名称】 三次元プリント技術

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 工具及びプロトタイプ部品の迅速な製造法の提供。

【構成】 粉末材料の第一層を限られた領域に沈積し、次に粉末材料層の選択された領域に結合剤材料を沈積して、選択された領域に接合された粉末材料を形成することによりコンポーネントを製作する方法である。このような工程を選択された回数だけ繰り返し、所望のコンポーネントを形成するため接合された粉末材料の選択された領域の継続層を形成する。その後、未接合粉末材料を除去する。場合によっては、コンポーネントを例えば加熱してその結合を更に強化する等更に処理することもある。

【効果】 コンピュータモデルを用いた本発明の技術は、例えば金属製造用型の迅速な製造及び金属マトリックス複合物のプレフォームの迅速な形成に特に有用である。この技術を、プラスチック材料に用いて、各種目的に供するプラスチックコンポーネント又は部品の形成にも使用可能である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 (1) 限られた領域に粉末材料の第一層を沈積すること；

(2) 前記の粉末材料層の選択された領域に結合剤材料を塗付して、接合された粉末材料の第一層を前記の選択された領域に形成すること；

(3) 各々接合された粉末材料の選択領域を有して、コンポーネントを形成する選択された数の継続層を形成するため、工程(1)及び(2)を選択された回数繰り返すこと；及び

(4) 前記コンポーネントを形成する前記の継続する層から未接合の粉末材料を除去すること；の諸工程を含むコンポーネントを製作する方法。

【請求項2】 前記の結合剤材料を一以上のジェット流として塗付する請求項1の方法。

【請求項3】 前記コンポーネントの諸性質を改善するため、粉末材料が接合された前記の選択された数の継続層を更に処理する工程を更に包含する請求項1の方法。

【請求項4】 前記コンポーネントの諸性質を改善するため、粉末材料が接合された前記の選択された数の継続層を更に処理する工程を更に包含する請求項2の方法。

【請求項5】 前記の更なる処理工程が、接合された粉末材料の前記継続層を更に強化するため、粉末材料が接合された前記の選択された数の継続層を加熱する工程を包含する請求項3又は4の方法。

【請求項6】 前記の粉末材料を乾燥状態で沈積させる請求項1又は3の方法。

【請求項7】 前記の層が沈積される際に前記の乾燥粉末材料を振動させて、前記粉末材料を安定させる工程を更に包含する請求項6の方法。

【請求項8】 前記の沈積された粉末材料の機械的振動、前記の沈積された粉末材料に音響エネルギーを適用すること又は前記の沈積された粉末材料にピエゾ電気掻き取り装置を適用することにより前記の振動工程を実施する請求項7の方法。

【請求項9】 前記の粉末材料が液体ビヒクル中に含まれ、かつ、前記の結合剤材料を塗付する前に該粉末材料を少なくとも部分的に乾燥させる工程を更に包含する請求項1又は3の方法。

【請求項10】 赤外線加熱又は熱風加熱を前記の粉末材料の沈積層に適用することにより、或いは前記の粉末材料の沈積層にマイクロ波を適用することにより、前記の少なくとも部分的に乾燥させる工程を実施する請求項9の方法。

【請求項11】 前記の結合剤材料を液体結合剤として塗付する請求項1又は3の方法。

【請求項12】 前記の液体結合剤が、結合剤材料の水溶液又は結合剤粒子のコロイド状態懸濁体である請求項11の方法。

【請求項13】 前記の液体結合剤が、担体液中に伴出

された結合剤粒子を含有する請求項11の方法。

【請求項14】 前記の結合剤材料が少なくとも二種の結合剤材料を含有し、前記の二種の結合剤が前記粉末材料の二以上の相異なる選択された領域に塗付される請求項1又は3の方法。

【請求項15】 前記の結合剤材料を単一ジェット流として塗付する請求項1又は3の方法。

【請求項16】 前記結合剤材料を直線的に沈積させるため、該結合剤材料を一以上のアレイで複数のジェット流として塗付する請求項1又は3の方法。

【請求項17】 前記の結合剤材料の一以上のジェット流の各々を連続ジェット流として塗付する請求項1又は3の方法。

【請求項18】 前記の一以上のジェット流の各々を複数の分離滴として塗付する請求項1又は3の方法。

【請求項19】 前記の粉末材料がセラミック粉末又はセラミック繊維であり、かつ、前記の結合剤材料が無機セラミック材料、有機セラミック材料又は金属材料である請求項1又は3の方法。

【請求項20】 前記の粉末材料が金属粉末であり、かつ、前記の結合剤材料が金属材料又はセラミック材料である請求項1又は3の方法。

【請求項21】 前記の粉末材料がプラスチック材料であり、かつ、前記の結合剤材料が前記プラスチック材料の溶剤である請求項1又は3の方法。

【請求項22】 結合剤材料の各層を塗付したあと、前記の結合剤材料を少なくとも部分的に硬化させる請求項1又は3の方法。

【請求項23】 結合剤材料の各層を塗付したあと、それに熱エネルギーを適用することにより前記の結合剤材料を硬化させる請求項22の方法。

【請求項24】 前記の熱エネルギーを赤外線又はマイクロ波の熱エネルギーとして適用する請求項23の方法。

【請求項25】 前記の結合剤材料を化学反応により硬化させる請求項22の方法。

【請求項26】 前記の粉末粒子が被覆材料で被われ、かつ、前記の化学反応が前記の結合剤材料と前記の被覆材料との間で生起する請求項25の方法。

【請求項27】 前記の粉末材料が湿った状態で沈積され、かつ、前記の化学反応が前記の結合剤材料と前記の湿った粉末材料内の液体との間で生起する請求項25の方法。

【請求項28】 前記の結合剤材料にガス状材料を供給し、前記の結合剤材料が前記のガス状材料と化学的に反応してゲル化された結合剤材料を形成する工程を更に包含する請求項25の方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】(産業上の利用分野) 本発明は、一般に工具及びプロトタイプ部品の製造に関するものであり、更

に詳しくは、コンピュータモデルを用いる三次元プリント技術の使用に関する。

【0002】(従来の技術)効果的な産業生産性及び競争性を提供せんとする二つのニーズは、新製品を市場に導入するために要する時間を短縮すること及び少量製品のフレキシブル製造を提供するニーズにある。すなわち、工具への投資を最小にして部品を迅速に変更することが望ましい。このようにするための技術は、特定課題に対して注文通りの設計ができること、設計から製造に至るサイクル時間を短縮できること及び／又は単一コンポーネントとして極めて小さいロットサイズで製造できることを全て妥当な費用で可能にするものでなければならない。新製品を市場に導入するために要する時間に主として寄与する因子は、機能性(functionizing)プロトタイプの製作に要する時間である。迅速なプロトタイプの製作は、設計者への迅速かつ効果的なフィードバックによる製品開発サイクルの短縮及び設計プロセスの改善を可能にする。更に一部の用途では、設計又はその適合(fit)及び組立の美的な面の評価に用いるため、非機能性部品の迅速なプロトタイプの製作が必要となることもある。

【0003】製品を市場に導入するための時間に寄与する別の主要因子は、金型やダイスのような工具の開発に要する時間である。射出成形ダイスのようなある種の型の工具では、工具の設計及び製作を変更する時間は普通数か月にわたる。このようにリード時間が長くなるのは、工具が頻々極めて複雑になって、細部にわたり人の注意を多く必要とするものだからである。すなわち、工具の製作は、リード時間のみならず製造費用にも影響を与える。事実、工具費用が頻々所与プロセスの最小経済バッチサイズを決定する。プロトタイプの製作、工具のリード時間、及び工具の費用は、長いリード時間と高い費用との組み合わせである点で関連しており、生産に使用されるものと同一のプロセスでの再生産プロトタイプの製作を非実際的にする。

【0004】過去数年、コンピュータ化された三次元プリント技術の開発に多くの関心が払われてきた。この技術は「デスクトップ製造」技術とも称され、工具を必要としない。斯かるシステムの一つに、3Dシステムズ社(3D Systems, Inc. 米国カリフォルニア州バレンシア)が製作・販売するSLA 1システムがある。このシステムは、光重合可能な液状ポリマーのプラスチック材料浴の頂部に焦点を合わせた紫外(UV)レーザをベクトル走査するステレオリソグラフィと称される原理に基いて作動する。UVレーザは、それが当たった浴の表面を重合させ、表面及び表面の直下に第一の固体プラスチック層を形成する。次に、この固体層を浴内に沈め、レーザによる重合過程を繰り返して次の層を形成する等々、複数の層が積み重なって所望の部品を形成するまで繰り返す。各ケースで最も新しく形成

された層を、常に次の層が液浴の表面の僅か下に形成されるような位置まで沈めるのである。

【0005】選択的レーザ焼結(Selective Laser Sintering(SLS))とも称される別法も、DTM社(DTM Corporation、米国テキサス州オースチン)により提案されている。このシステムでは、レーザビームを用いて、ゆるめに詰めたプラスチック粉末層の領域を焼結し、該粉末を次々と層状に塗布するのである。「焼結(sintering)」なる語は、粉末プラスチック等の粒子を外部から加えるエネルギーにより内実の塊状物に接着させる方法を意味する。SLSシステムは、斯かる目的に対して、レーザにより供給される光エネルギーを使用する。

【0006】すなわち、ローラ機構により粉末の薄層を平らな表面上に均一に拡げる。次に、この薄い粉末表面を上部から高出力のレーザビームによりラスタ(raster)走査する。レーザビームが当たった粉末材料は融結する。レーザビームが当たらなかった領域はゆるい状態に留まり、部品をシステムから取り除く際に部品から落下する。部品全体が完成するまで、粉末層を継続して夫々の上部に沈積させてラスタ走査する。各層は、それが先行する層に接合する十分な深さまで焼結される。ハイドロネティックス社(Hydronetics, Inc.、米国イリノイ州シカゴ)も、同様なレーザ焼結法を提案している。同社が示した別法は、積層物品製造法(Laminated Object Manufacturing(LOM) technique)と命名されており、薄い金属箔層を部品の形成に適当な形状に切り、この賦形された層片を互いに重ねて置き、適当に接合して関連する部品を形成する方法である。

【0007】3Dモデル及びプロトタイプの形成のため提案されたその他の方法には、オートメーテッドダイナミック社(Automated Dynamic Corporation、米国ニューヨーク州トロイ)が提案した弾道粒子製造法(Ballistic Particle Manufacturing(BP))と称する方法がある。この方法はインクジェットプリント技術を使用する方法であり、液状の溶融した金属複合材料のインクジェット流を用い、インクジェットプリンタが二次元グラフのプリントを形成する方法と同様に、コンピュータの制御下に三次元の物品を形成する方法である。冷溶接(cold welding)すなわち迅速同化)技術を用い、ターゲットに継続する断面をインクジェットプリントして次々と層を重ねる方法により金属又は金属複合物の部品を製造する。冷溶接技術は、粒子と継続する層を接合する。

【0008】フォーミグラフィックエンジン社(Formigraphics Engine Co.、米国カリフォルニア州バークレイ)が提案した光化学機械加工(Photochemical Machining)と称さ

れる更なる技術は、レーザビームを交差してポリマープラスチックブロックを選択的に硬化又は軟化させる方法である。該法の基礎となる機構は、材料の光化学的な架橋又は分解である。

【0009】(発明が解決しようとする課題) セラミック若しくは金属材料又は斯かる材料の相互組み合わせ若しくは他材料との組み合わせで満足に機能し、但しプラスチック粒子又は他の無機材料でも満足に機能するような層状化部分を提供する技術を考案することが望まれている。このような技術は、今まで提案されている技術よりも広範な材料からコンポーネントを製造するため、より普遍的に使用できるであろう。

【0010】(課題を解決するための手段) 本発明の一好適実施態様では、粉末材料たとえばセラミック粉末、金属粉末又はプラスチック粉末を互いに重なり合う逐次層として沈積する。粉末材料の各層を沈積させたあと、形成予定の三次元部品のコンピュータモデルに従うインクジェットプリント技術を用いて、粉末材料の層に液状結合剤材料を選択的に供給する。問題部品の形成に必要な粉末層及び結合剤材料の全てを逐次塗付したあと未結合粉末を適当に除去すると、所望の三次元部品が形成される。このような技術は、複雑な金属、セラミック又は金属-セラミック複合物の部品を極めて高い解像度で妥当な短い時間内に効果的に形成可能とするものであることが見出された。

【0011】付属図面を引用すると本発明を更に詳しく説明することができる。

【0012】図1は、本発明の一特定実施態様の等角図である。

【0013】図2は、本発明に従って部品を形成する際の各段階の概要図である。

【0014】図3、4及び5は、機械的振動及び音響エネルギーを加えて粉末粒子を固定する各種技術例を示す。

【0015】図6図は、本発明に従って粉末粒子を沈積させるため落下ピストン装置を使用する段階の例を示す。

【0016】図7図及び8は、凹角特徴(reentrant feature)を有する部分の形成を示す概要図である。

【0017】図9は、本発明の実施に使用可能なシステム例のブロックダイアグラムを示すものである。

【0018】図10は、本発明を実施するため図8のシステムで使用するステップのフローチャート例を示す。

【0019】図11及び12は、本発明に従って形成される部品の3-Dモデル及び2-Dスライス夫々の例を示す等角図である。

【0020】図13は、図11及び12に示したモデルの2-Dスライス1-D線セグメントの平面図を示す。

【0021】本発明の一特定実施態様を図1に示す。図

1は、六個の実質的に同一の部品の成形に使用可能な六個のキャビティ12A-12Fを有するセラミック型を形成するための装置10を示す。粉末分散ヘッド13は、形成する型の長さに沿ってシャトル運動で往復駆動される。粉末分配ヘッド13及び結合剤沈積ヘッド15の移動には、適当なりニアステップモータ(linear stepping motor)組装置18を使用することができる(後述する)。粉末材料、例えばセラミック粉末を限られた領域、例えばフォーム(form)14が定める領域に分配する。この粉末は、例えば約100-200ミクロンの代表的厚みの比較的ゆるめの層を形成するため分配ヘッド13が型長に沿って不連続なステップで移動する際に一線内に分配される。ここでは材料を粉末材料として説明しているが、用途によっては、例えば繊維の形態で分配することもできる。本発明を説明する便宜上、粉末材料なる語は繊維材料を含むものとする。ステップモータは、ヘッド13の動きが本質的に連続となるような高速度で移動することができる。別法として、サーボ調節モータのように本来連続動作するモータであってもよい。初めの層をフォーム14の低部に分散させ、各継続層を先行層上に次々と分散させる。

【0022】粉末ヘッドの動作に従い、各キャビティの壁である選択全域16で液状結合剤材料のジェットを選択的に形成し、それにより粉末材料をその領域で結合させるため、同じ往復式のステップモータ組装置によっても複数のインクジェットデイスペンサを有するインクジェットプリントヘッド15は駆動される。結合剤のジェットは、粉末材料の分配ヘッド13と実質的に同様に移動する。すなわち高速ステップ動作又は連続サーボモータ動作により移動する(各ケース共ヘッド15は、ヘッド13に関して前述したように効果的に連続移動する)プリントヘッド15の線に沿って分配される。代表的な結合剤の滴径は、例えば約15-50ミクロンである。この粉末/結合剤層の形成方法を繰り返し、層を重ねて型部品を作り上げるのである。

【0023】本発明に従って製作される部品を示す概要図を図2に示す。図2は、そのフローの概要を示す図である。問題の部品40に関して、粉末分配ヘッド41から既に結合剤が内部に沈積されて前に形成されたフォーム24内の層上に粉末層を沈積させる(A)。次に、結合剤ジェットヘッド43から結合剤材料層上にプリントして、接合された粉末物品の次層を形成する(B)。この操作を各継続層毎に繰り返す。部品40の中間形成段階例を(C)に示す。(D)に示すように最終接合層がプリントされたとき、過剰の未接合粉末を除去する。最終的に形成された部品そのものを(E)に示す。

【0024】各層が下に置かれる際に、該層は硬化乃至少なくとも部分的に硬化されるのであるが、所望の最終部品形状物が出来上つて層化過程が完了したならば、用

途によっては、フォーム又はその内容物を適当に選択された温度で加熱すなわち硬化し、粉末粒子の接合を更に促進することが望ましい場合がある。更なる硬化を必要とする場合も必要としない場合も、ゆるい未接合の粉末粒子、例えば(図1)17領域のそれは、例えば超音波洗浄等の好適技術を用いて除去され、使用のための仕上がり部品を残すのである。

【0025】効果的使用のため、粉末粒子を比較的高速で均一に沈積する必要がある、その速度は該技術を使用する用途に従って選択される。多数の有用用途では、粉末粒子を比較的高密度で充填できることが好ましいが、大きな多孔度を有する部品が望まれる場合のように密度がかなり低目になる用途もある。所要の速度及び密度で所望の均一な粉末分散体にするには、コロイド科学及び粉末分散化学の分野で用いられている既知技術を使用することができる。すなわち、斯かる粉末を乾燥粉末として分配すること、又はコロイド状分散体若しくは水性懸濁体等の液体ビヒクル内に含めて分配することができる。乾燥状態では、所望の粒子緊密化は、機械的振動緊密化技術を用いて、或いは沈積粉末に音波若しくは超音波振動等の音響エネルギーを与えることにより又は沈積粉末にピエゾ電気スクレーパを適用することにより達成することができる。

【0026】このような技術を、例えば図3、4乃至5に夫々示す。図3は、粉末粒子62を内部に沈降させるため振動トランデュサシステム61を用い、フォーム14を矢印60で示すように機械的に振動させる様子を示す。図4では、このような目的に音響トランデュサシステム63を用いて、粉末の表面層に音響エネルギー64を供給している。図5では、振動トランデュサシステム65を用い、ピエゾ電気スクレーパ66が例えば矢印68方向に移動する際、それを矢印67で示すように振動させて粉末62を沈降させる。

【0027】粉末は、乾燥形態でも湿潤形態であっても落下ピストン法を用いて沈積可能である。落下ピストン法では、垂直に移動可能なピストンの上部に乾燥若しくは湿った粉末を沈積し、ピストンを室内の下方に移動させ、適当なスクレーパ装置で過剰の粉末を掻き取る。

【0028】図6の図(A)に示すように、ピストン70は、室内で部分的に形成された部品71を保持する。粉末層を沈積させるため、ピストンを室内の下方に移動させ、室73内の上部に粉末粒子を沈積させるための領域を残す(図(B))。この領域に粉末粒子74を沈積し、例えばドクターブレード75を用いて過剰の粉末を掻き取る(図(C))。上部に新たに粉末層76を沈積させた部品71は、それに結合剤材料を塗付できる状態にある(図(D))。

【0029】一般に、例えば寸法が約20ミクロン以上の大粒子は乾燥状態での沈積が好ましく、一方の例えば寸法が約5ミクロン以下の小粒子は、乾燥状態でも液体

ビヒクル中の湿った状態でも沈積可能である。

【0030】分散剤化合物の添加により、液体ビヒクル内に粒子のコロイド状分散体を形成することができる。湿潤粉末法に用いる液は、次の層を沈積する前に除去乃至部分的に除去される。すなわち、インクジェット結合剤をプリントする前にこの液を急速に蒸発させるのである。このような蒸発は、例えば赤外線加熱、熱風加熱又はマイクロ波加熱法により達成することができる。

【0031】結合剤材料のインクジェットプリントには、製造対象部品の寸法公差がその硬化時にも維持されるような収縮特性をもつ材料を選んで、その滴を使用しなければならない。結合剤溶液は比較的高目の結合剤含量を有しなければならないが、その粘度は、粉末材料内に沈積のためプリントヘッドを通して流れることができる程度まで低くなくてはならない。結合剤材料は、層に浸透して各層で比較的急速に結合作用を発揮し、引続き次の粉末粒子層を塗付できるようなものを選択する必要がある。ある種のインクジェット技術を使用する際、結合剤材料が少なくとも最小の電気伝導性を必要とすることがある。特に最近入手できるようになった連続式ジェットプリントヘッドを用いる際がそうであり、同ヘッドは結合剤溶液滴がヘッドを出る際、該滴上に電荷を与えるために十分な伝導性を必要とする。ある種の有機溶剤のように結合剤を伝導性にする 것이できない場合には、その結合剤はドロップオンデマンド(drop-on-demand)プリントヘッドを用いて塗付することができる。

【0032】この結合剤材料は、各層が沈積された際に高い接合強度を有し、従って全層が接合されたときに、それから形成されるコンポーネントに更なる処理を施さずともすぐに使えるようなものである。別ケースでは、部品の追加処理が望ましいが、それが必要となることもある。例えば、この方法は形成されるコンポーネントに妥当な強度を与えるものであるが、部品の形成後に更に加熱すなわち硬化して、粒子の接合強度を更に高めることができる。斯かる加熱又は焼成時に結合剤を除去可能な場合もあるが、焼成後に結合剤材料を残すことができる場合もある。何れの操作になるかは、用途及び加熱又は焼成を行う条件、例えば温度によって選択される個々の結合剤材料に関係する。部品の形成後にその他の後処理操作が行われることもある。

【0033】使用可能なインクジェットプリント機構は当該技術分野で既知であり、普通二つのタイプのものがある。一つは連続式ジェット流プリントヘッドであり、他はドロップオンデマンド流のプリントヘッドである。連続式の高速度プリンタの例は、ダイコンニクス社(Dyconix, Inc., 米国オハイオ州デイトン)が製造・販売するディジット(Digit)プリンタであり、これは連続的に6000万滴/秒まで配送可能で274m/分(900フィート/分)迄の速度でプ

リント可能な約1500ジェットを含むラインプリント棒を有する。このシステムでは、液体材料は高圧下に各ジェットノズルから連続的に噴出し、次にそのジェット流が一連の滴に分かれ、その方向は電気制御信号で調節される。

【0034】現在当該技術分野に知られるようになったドロップーオンーデマンドシステムは、一般に二種の液滴形成機構を用いる。一方は、ピエゾ電気素子を使用する方法であり、一実施態様例では液体貯器の一壁にピエゾ電気素子を取り付けたものである。ピエゾ電気素子に加えられたパルスは、貯器キャビティーの容積を若干変え、同時に液体内に圧力波を誘起する。この操作は、キャビティーに取り付けられたノズルから噴出することになる液滴を発生させる。キャビティーは毛管作用により再び満たされる。別法は蒸発性の泡を用いる方法であり、該法では、小型の抵抗式ヒーターを駆動して液の一部を蒸発させて蒸気の泡を形成し、それがキャビティーから噴出することになる小液滴を形成する。キャビティーは毛管作用を介して再び満たされる。一般に、連続式ジェット技術は、ドロップーオンーデマンド技術よりも高い液滴沈積速度を与える。

【0035】この連続式又はドロップーオンーデマンドのインクージェットヘッドは、例えば単一ジェット又は該材を線状に効果的に沈積させるよう配列されたジェットのアレイ、或いはジェットを線状に平行かつ効果的に沈積するよう配列された比較的短く平行なジェットアレイを二以上組み合わせたものが使用される。

【0036】セラミック、金属、プラスチック又は複合成分の製造可能速度は、粉末の沈積及び結合剤液の供給に使用される速度並びに層が互いに重なって沈積された際に各接合層が硬化する時間に関係する。

【0037】乾燥粉末分散体を使用した場合、粉末の塗付工程は総括プリント速度を決定する制限因子としての重要性は低い。しかしながら、液体ビヒクル内の粉末分散体を使用する場合には、結合剤材料をインクージェット塗布する前に層を少なくとも部分的に乾燥しなければならない。この乾燥時間は、使用する粉末、結合剤及び溶剤の個々の性質に依存する。

【0038】形成するコンポーネントの各部分の寸法は、「造作寸法 (feature size)」と称されるが、これは主として使用する結合剤滴の寸法に関係する。一方、斯かる寸法の公差は、使用する結合剤材料の液滴拡がり特性の再現性に関係する。

【0039】現在既知のインクージェット装置を用いる液体結合剤のインクージェットプリントは、例えば15ミクロン程の小さなジェット滴径を与えることができる。新規表面域の形成及び小ジェットの閉塞可能性の増大における表面エネルギーを考慮して液滴寸法の下限を下げて更に小さな液滴寸法を実現することも可能である。

【0040】部品の総括的な公差は、滴下拡がりのみならず、

材料の収縮及び収縮特性の再現性にも関係する。一例として、結合剤/粉末の組み合わせが1%収縮し、その収縮が1%呼称値の5%範囲内で再現されるならば、収縮に基く総括的な変差を約0.0005cm/cmとすることができる。結合剤の硬化又は沈積時に生じる実際の収縮は、粒子再配列の比較的強い関数である。寸法の公差及び粒子の充填は、各ケース毎に最良の結果が得られるよう実験的に決定することができる。

【0041】アルミナ、ジルコニア、ジルコン、(すなわち、ケイ酸ジルコニウム)及び炭化ケイ素は、本発明の技術を用いて接合可能な代表的セラミック材料である。これらの材料を有機ビヒクル中に含める場合には、天然及び合成の分散剤が共に入手可能である。例えば、アルミナはグリセリド界面活性剤によりトルエン/MEK溶剤中に極めて効果的に分散され、電子パッケージング工業の誘電性基材に於いて粒子の薄いシートを流延するのに使用される。炭化ケイ素は、例えば、少量のOLOA 1200 (例えばシエブロンケミカル社のオロナイト添加剤事業部 (Chevron Chemical Co. Oronite Additives Div.、米国カリフォルニア州サンフランシスコ

【0042】)から得られる)が存在すると、ヘキサシラン中で容易に分散可能である。OLOAは主にクランクケースオイルの添加剤として使用されており、エンジンの摩耗により形成される金属粒子の分散剤として機能する。

【0043】有機結合剤はセラミック工業でこれまでも使用されており、代表的には各種原料から得られるポリマー樹脂である。これらの有機結合剤は、押出し技術で使用されるようなセルロース系結合剤等の水溶性のものでも、或いはテープケーシング技術で 사용되는ようなブチラール樹脂等の揮発性有機溶剤のみに可溶のものでもよい。後者の有機溶剤可溶の系は、比較的急速に除去することができ、本発明の技術に特に有用であるように思われる。別タイプの有機結合剤には、ポリカルボシラゼンのようなセラミック前駆体材料がある。

【0044】結合剤を最終コンポーネントに添入する場合は、無機の結合剤が有用である。このような結合剤は一般にケイ酸塩ベースのものであり、代表的にはケイ酸又はその塩を水溶液中で重合させて形成される。その他の使用可能な無機結合剤の例はTEOS (オルトケイ酸四エチル) である。乾燥時にコロイド状シリカはマトリックス粒子の首に凝集してセメント状の接合を形成する。燃成時にシリカは流動し、表面張力の作用を介してマトリックス粒子を再配列させて燃成後も留まる。可溶性ケイ酸塩材料は、例えば耐火キャスタブル材料の結合剤として使用されており、本発明の技術に使用した際、鑄造工業で使用されているものと実質的に同一タイプの耐火物本体を製造すると云う利点がある。

【0045】用途によっては、沈積時に結合剤が比較的

急速に硬化して、前の層の表面上に配される次の粒子層が毛管力による粒子再配列を受けないことが好ましい。更には、硬化した結合剤は、粉末沈積に使用される溶剤からの汚染を受けない。その他の場合には、結合剤が層間で十分に硬化する必要はなく、粉末粒子の次層を未だ十分に硬化していない前層上に沈積させてもよい。

【0046】結合剤が沈積された時点で硬化が起こる場合、加熱硬化すなわち結合剤担体液の蒸発は、斯かる目的に対して結合剤材料のプリント実施時に形成するコンポーネントを暖ため、一方のプリントヘッド自身はインクージェットヘッドの貯器内の未プリント結合剤材料がその所望性質を保持するよう冷却されていることが一般に必要である。このような硬化は、例えば適当な外部加熱源を用いて、部品を形成する総括的装置を加熱すること等にて結合剤材料を間接的に加熱することにより、或いは結合材料への熱風の適用又は赤外エネルギー又はマイクロ波エネルギーの適用など結合剤材料を直接加熱することにより達成することができる。別法として、各種の熱的に活性化される化学反応を結合剤の硬化に使用することも可能であろう。例えばケイ酸アルカリ塩溶液のゲル化は、有機試薬の分解に伴うpHの変化により生起させることができる。すなわち、ケイ酸アルカリ塩とホルムアミドとの混合物を形成される熱いコンポーネント上にプリントすることができる。濃度が急上昇するとホルムアミドの分解は大幅に増大し、その結果結合剤のpHは急速に変化する。沈積された結合剤を硬化させるその他の熱的又は化学的に開始される技術は、当業者の技術範囲内で考案することができる。

【0047】液状及びコロイド状の結合剤材料については前述したが、用途によっては液体に取り込まれた結合剤粒子の形態で結合剤材料を沈積させてもよい。このような結合剤材料は、斯く取り込まれた結合剤材料を提供可能なように特に設計された複合インクージェット構造物として供給することができる。このような複合構造物の一例は、例えばハインツル(J. heinzle)及びヘルツ(C. H. Hertz)がAdvance in Electronics and Electron Physics第65巻に「インクージェットプリンティング」なる論文で議論している。

【0048】更に部品を製作する際には、使用する結合剤材料は単一の結合剤材料である必要はなく、形成する部品の種々の域に相異なる結合剤材料を使用することが可能であり、この相異なる材料は別々の結合剤沈積ヘッドにて供給される。図2図に二重ヘッドシステムを示しており、第二ヘッド43Aは同図の(B)を鎖線で示す。粉末と結合剤材料との多数の可能な組み合わせは、本発明に従って選択することができる。例えば、セラミック粉末又はセラミック繊維は、無機若しくは有機の結合剤材料と共に、或いは金属の結合剤材料と共に使用可能であり；金属粉末は金属結合剤又はセラミック結合剤と

共に使用であり；かつ、プラスチック粉末は溶剤系結合剤、例えば低粘度エポキシプラスチック材料と共に使用可能である。その他の粉末と結合剤材料との適当な組み合わせは、各種用途に応じて当業者が想到するところである。

【0049】本発明の有用な一用途は、金属製造用の型、特に比較的複雑な形状をもった型をプリントすることである。現在、複雑で高精度の製造は、ロストワックス製造法又はインベストメント製造法により製造されている。この方法は、アルミニウムダイの製作から始まり、そのダイを用いて製造により製造する物品のポジ(positive)ワックス型を製作する。このダイは、普通、放電加工により製造される。次にワックスポジを製作し、ワックスランナーシステムを用い手で互いに連結してトリー(tree)を形成する。この部品が内部空隙を有する場合には、ワックスポジにセラミック中子を含める。次にトリーをセラミックスラリーに繰り返し浸漬し、各浸漬操作の間に乾燥サイクルを設ける。最終乾燥のあと、ワックスを融解してシェル型から焼失させ、最後に製造に使える型が得られる。このようなロストワックス製造技術は、その基礎的形態で永年当該技術分野で使用されてきた。

【0050】本発明の技術によれば、ワックスポジを全く必要とせず、セラミックシェル型を直接その形態に製作することが可能である。内部空隙は、その域の結合剤材料を省くことにより製作することができる。次に、このゆるい未接合の粉末をあとの最終型で熔融金属を受け入れることになる同じ通路を経由して型から洗い出す。図7及び8は、凹入(reentrant)特色のある部品を形成するときの概略図である。すなわち、図7では、逐次層の最初のセットで結合剤材料を三つの選択された域、20、21及び22にプリントし、一方では図8に示すように逐次層の最終として選択された領域23が前に形成された全三域を包み込むのである。型プリント用の代表的粉末材料には、前述のように、例えばアルミナ、シリカ、ジルコニア及びジルコンがある。更には、本発明技術は中子の形成のみに使用することもできる。

【0051】中子領域を有する型を製造する際、型の本体に特定の一結合剤材料を使用し、その中子領域には変性された結合剤材料を使用することが有利であり、中子領域には、例えば第二のプリントヘッドを使用する必要がある。本発明の技術は、型を形成する上で、ロストワックス技術と比較して少なくとも二つの利点を有する。一つは中小バッチの部品のコストを低減できることであり、他の一つは広範な種々の型及びその他の部品を比較的短い変更時間で製造できることである。

【0052】前述の粉末分配制御及び結合剤材料のノズル制御操作を行うための比較的単純なシステム例を図9のブロック図及び図10のフローチャートを引用しながら



ら説明する。図9に示すように、通常のコンピュータ支援設計(CAD)操作に使用可能であって当該分野で周知の任意の型のマイクロコンピュータ30が、本発明の目的のプログラム化に適當である。このマイクロコンピュータ30は、周知のCAD技術を用いて製作されるコンポーネントの三次元(3-D)モデルを作成するため使用される。コンピュータ化された3-Dモデルの一例を図11に示す。スライス化アルゴリズムを用いて選択された継続するスライスを同定する、すなわち選択された2-D層に関する、例えばその底層すなわち底スライスから始まる3-Dモデルのデータを準備する。モデル50の層51の例を図12の分解組立図に示す。このような目的を達成する特定スライス化アルゴリズムの開発は、当業者の技術の範囲に属する。

【0053】図13の平面図に示すように、特定の2-Dスライスを選択した後、そのスライスをその一連の一次元(1-D)走査線に還元する。この目的を達成する適当な還元アルゴリズムの開発も、当該技術の範囲に属する。各走査線52は、単一の線セグメント(例えば走査線52Aのセグメント53A)又は二以上のより短い線セグメント(例えば走査線52Bのセグメント53B)を含むことができ、各線セグメントは、走査線上のある定まった出発点及び線セグメントのある定まった長さを有する。例えば、線セグメント53Bは、参照線54から測定して夫々 $x_1$ 及び $x_2$ に出発点を有し、かつ、その出発点 $x_1$ 及び $x_2$ から測定して夫々 $l_1$ 及び $l_2$ の長さを有する。

【0054】マイクロコンピュータ30は、形成されている3-Dモデルの特定2-Dスライスが粉末「開始」信号を粉末分配制御回路31に送信することにより選択される際に粉末分配操作を起動させる。この粉末分配制御回路31は、粉末ヘッドデバイスにより前述のような好適な方法で粉末分配システム32を動かして、沈着される選択されたスライスが粉末層を受け入れるようにする。例えば、中に選択されたスライスが配置される限られた領域の全域にわたって粉末が沈積される。粉末が分配されるとマイクロコンピュータ30が斯かる領域での粉末分配は完了したことを意味する粉末「停止」信号を送って、粉末分配調節器の操作を停止するのである。

【0055】次に、マイクロコンピュータ30は、ある一つの走査線すなわち選択された2-Dスライスの第一走査線を選択し、続いてある一つの線セグメント、例えば選択された走査線の第一1-D線セグメントを選択し、結合剤ジェットノズル制御回路33にその出発点及び長さを定めるデータを送信する。操作の説明を簡単にするため、単一結合剤ジェットノズルを使用し、且つ、このノズルは、総括2-Dスライスが通常のラスタ走査(X-Y)操作で走査されるような仕方ですライスの線セグメントを走査すると仮定する。ノズルのリアルタイム位置が選択された線セグメントの出発点であるとき、

その線セグメントに関してコンピュータ30から送信される定まった出発点及び長さのデータに従って、ノズル35は線セグメントの開始時にオンにされ、線セグメントの終端でオフにされる。継続する各線セグメントは選択された走査線で同様に走査され、選択されたスライスの継続する各走査後も同様に走査される。この目的で、ノズル担体システムは、マイクロコンピュータ30からの走査「開始」信号によりX軸(速軸)方向及びY軸(遅軸)の両方向にその移動を開始する。ノズル担体(及び、従ってノズル)のリアルタイム位置に関するデータは、ノズル制御回路に送信される。スライスが完全に走査されると、走査「停止」信号がスライス走査状態の終了を指令する。

【0056】各線セグメントの走査時には、選択されたスライスの特定の走査線の全ての線セグメントでノズル操作が行われたかどうかの判定が行われる。もしそうでないと、次の線セグメントを走査し、その線セグメントに対してノズル制御操作が施される。ある特定走査線の最終線セグメントに対する操作が完了すると、関係した走査線が選択されたスライスの最終走査線であるかどうかの判定が行われる。もしそうでなければ、次の操作線が選択され、スライスのこの走査線の継続する各線セグメントに対して走査及びノズル制御過程が実施される。特定の1スライスの最終走査線に対するノズル操作が完了すると、このスライスが総括3-Dモデルの最終スライスであるかどうかの判定される。もしそうでなければ、次のスライスが選択され、その全走査線に必要な粉末沈積を含む斯かる走査線の各線セグメントに対する総括プロセスは退けられる。結合剤材料を3-Dモデルの最終スライスに供給すると操作は完了する。

【0057】図9のコンポーネントを使用する図1図のフローチャートを実行するために必要なプログラムの作成は当該技術の範囲に属するものであり、これ以上詳しく説明する必要はない。この方法は、前述のように、単一ノズルに対して使用可能であり、マルチプルノズル例えば結合剤材料を効果的に線状沈積させるためのノズルのアレイ又は複数の比較的短いマルチプルアレイを有する結合剤ヘッドに使用しても容易に適合することができる。

【0058】本発明の前記実施態様に加え、前に開示した諸技術の更なる変法又は変更は当業者が容易に想到するところである。例えば、結合剤を湿った状態で塗付せずに、塗付及び加熱時に溶融した材料が粉末粒子に浸透し、かつ、硬化時にはそれらを互いに結合するよう低融点の材料を用いて乾燥状態で塗付することもできる。更には、二以上の相異なる型の粉末粒子を二以上の分離した粉末分散ヘッドを介して塗付し、種々の粉末を形成される部品の種々の域に沈積させることもできる。次に、そのような種々の領域で種々の物理的特性が得られるよう相異なる結合剤を用いて、或いは同一の結合剤を用い

て斯かる領域の粉末を結合することができる。本発明のその他の変更及び拡張も、その精神及び特許請求の範囲から当業者の想到できるものである。従って本発明は、前記の特定実施態様に限定されると解されてはならず、特許請求の範囲のみによって限定される。

【0059】（発明の効果）本発明の技術は、例えば金属 casting 型の迅速な製造及び金属マトリックス複合物のプレフォームの迅速な形成に特に有用である。この技術を、プラスチック材料に用いて、各種目的に供するプラスチックコンポーネント又は部品の形成にも使用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一特定実施態様の等角図である。

【図2】 本発明に従って部品を形成する際の各段階の概要図である。

【図3】

【図4】

\*

\* 【図5】 機械的振動及び音響エネルギーを加えて粉末粒子を固定する各種技術例を示す。

【図6】 本発明に従って粉末粒子を沈積させるため落下ピストン装置を使用する段階の例を示す。

【図7】

【図8】 凹角特徴を有する部分の形成を示す概要図である。

【図9】 本発明の実施に使用可能なシステム例のブロックダイアグラムを示すものである。

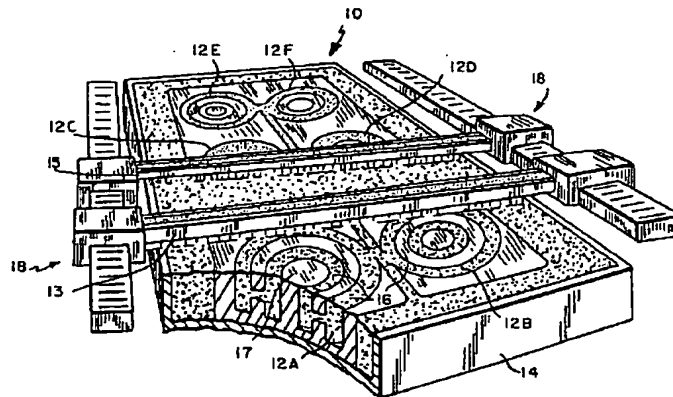
【図10】 本発明を実施するため図8のシステムで使用するステップのフローチャート例を示す。

【図11】

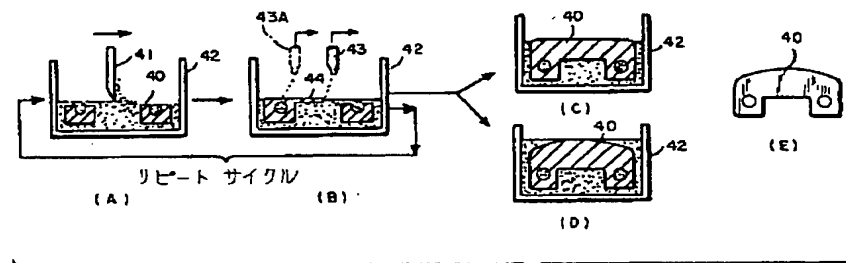
【図12】 本発明に従って形成される部品の3-Dモデル及び2-Dスライス夫々の例を示す等角図である。

【図13】 図11及び12に示したモデルの2-Dスライス1-D線セグメントの平面図を示す。

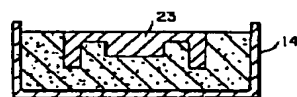
【図1】



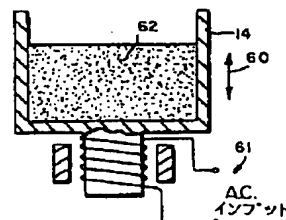
【図2】



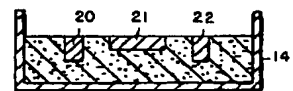
【図8】



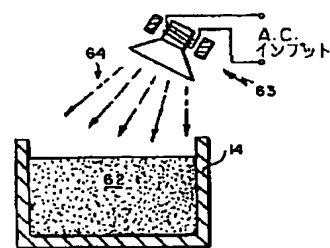
【図3】



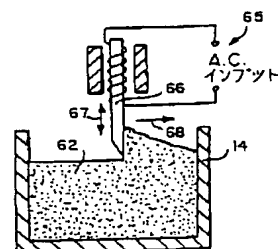
【図7】



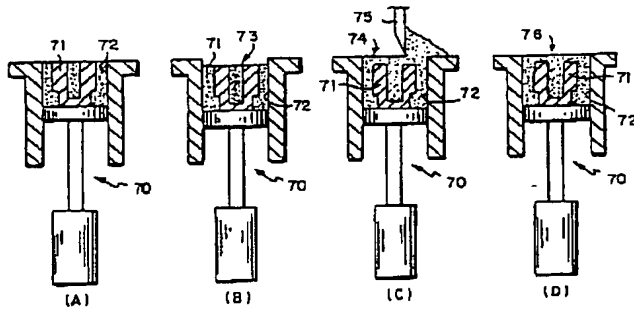
【図4】



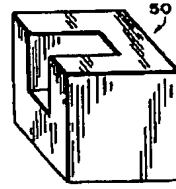
【図5】



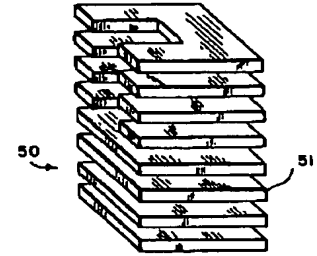
【図6】



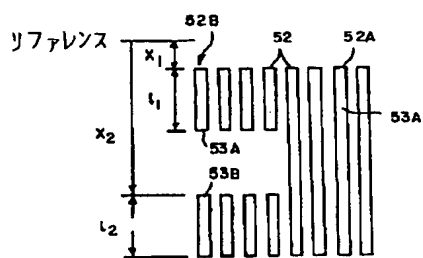
【図11】



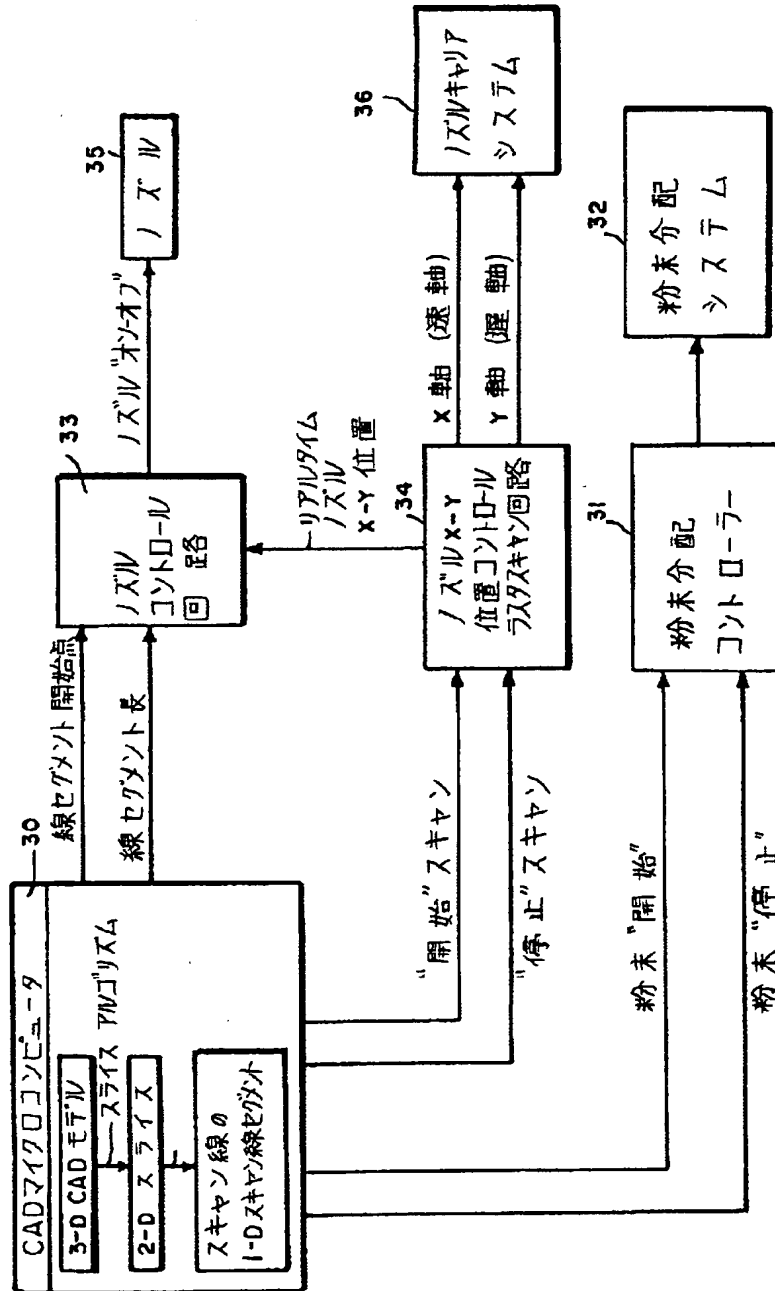
【図12】



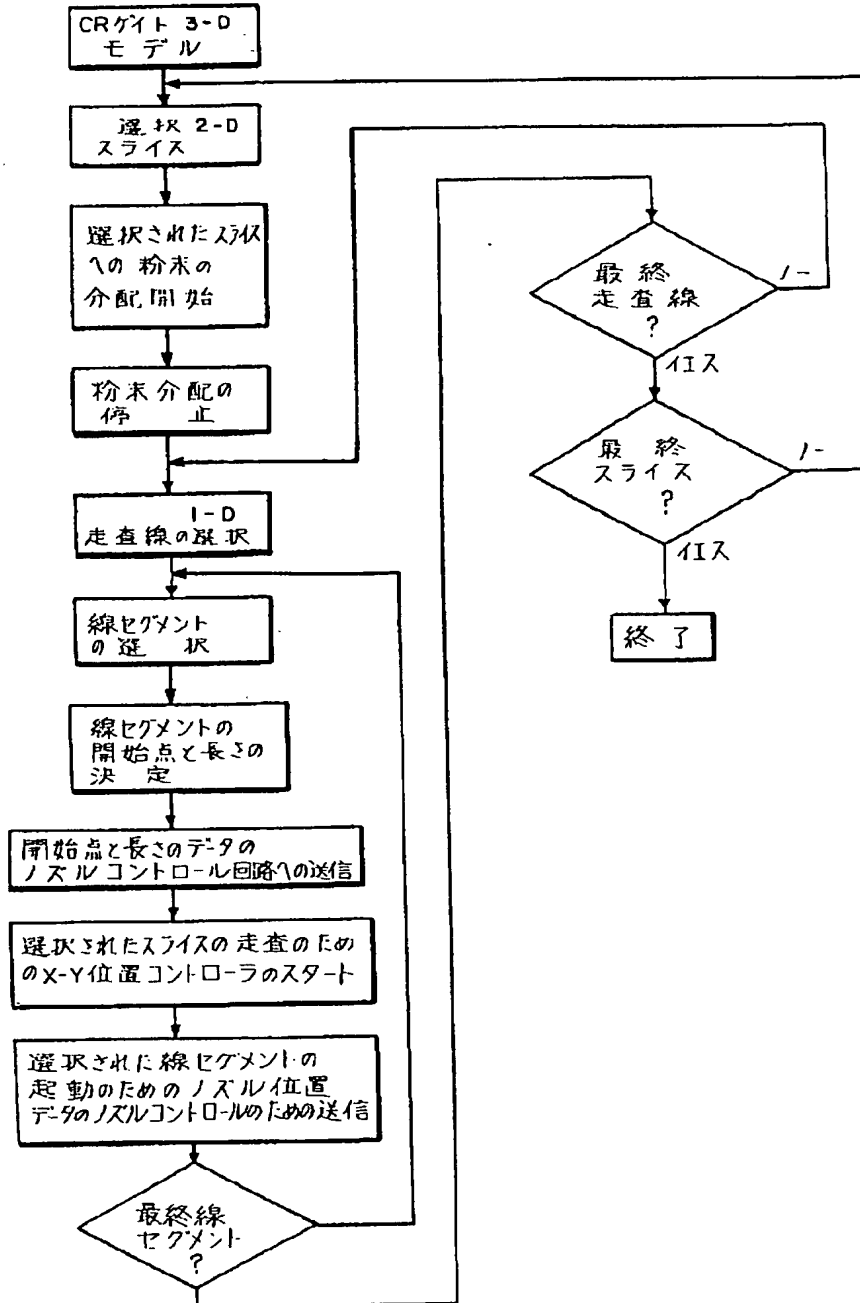
【図13】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 ジョン・エス・ハガティ  
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州01773,  
 リンカーン, パートリッジ・アベニュー  
 5

(72)発明者 マイケル・ジェイ・シーマ  
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02173,  
 レキシントン, バーリントン・ストリー  
 ト 28

(72)発明者 ポール・エイ・ウィリアムズ  
アメリカ合衆国マサチューセッツ州01742,  
コンコード, クレスト・ストリート 33